

СПИРИНА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ТЕЛЕВИЗИОННОГО И ЗВУКОВОГО
ВЕЩАНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.12.13 - Системы, сети и устройства
телекоммуникаций

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Казань - 2003

Работа выполнена в Казанском государственном техническом университете
им. А.Н. Туполева

Научный руководитель:

кандидат технических наук,
профессор Щербаков Г.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Уразбахтин И. Г.,

кандидат технических наук,
Царев Л. С.

Ведущая организация:

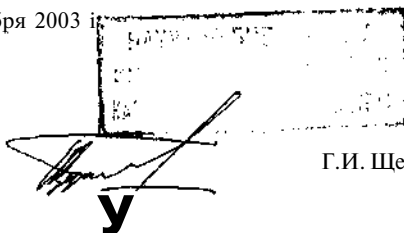
Самарский отраслевой научно-
исследовательский институт радио

Защита состоится ^ декабря 2003 г. в / ^ часов
на заседании диссертационного совета Д 212.079.03
в Казанском государственном техническом университете
им. А.Н. Туполева по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан ^ ноября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Г.И. Щербаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В последние годы быстрыми темпами развиваются сети телевизионного (ТВ) и звукового вещания. Это связано с бурным развитием регионального телерадиовещания, с реорганизацией сети в виду ее устаревания, с введением действующих станций передатчиков дополнительных программ, с освоением диапазона дециметровых волн и т.д.

Развитие сети телерадиовещания требует разрешение такого вопроса, как обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) между радиопередающими станциями (РПС) вещательной службы, между службами телевизионного и звукового вещания и другими службами, совместно использующими общие полосы частот. При определении значений основных параметров радиопередающей вещательной станции основным критерием является возможность работы данной станции без взаимных помех в сложившейся сети. Таким образом, подбор параметров для новой станции или изменение значений для действующей нередко сопряжен с необходимостью коррекции целого ряда параметров других радиовещательных станций. Для рационального использования параметров сети телевизионного и звукового вещания особую важность приобретает эффективное планирование данной сети.

Оптимизацию параметров при проектировании сети телерадиовещания целесообразно проводить с использованием многослойных электронных карт местности и специализированного программного обеспечения на базе геоинформационных технологий. Это способствует повышению оперативности и обоснованности решений, принимаемых при выборе мест размещения радиопередающих станций, за счет анализа влияния земной поверхности и местных предметов на распространение радиоволн, а также позволяет провести полный расчет зоны обслуживания с учетом рельефа местности и подстилающей поверхности. Однако, на сегодняшний день существующие специализированные геоинформационные системы (ГИС) направлены на решение задач анализа сети, а ГИС, направленные на решение задач оптимизации сети, находятся в стадии разработки.

При проектировании передающей сети стремятся так разместить радиовещательные станции, чтобы обеспечить возможность приема программ для большей части населения. Следовательно, актуальной является задача наилучшего покрытия территорий информационными каналами при минимальных технических затратах. Анализ работ показывает, что данным вопросам уделено недостаточное внимание, что определяет актуальность диссертационных исследований.

Цель и задачи исследования.

Целью работы является повышение эффективности сетей телевизионного и звукового вещания путем оптимизации технических параметров этих сетей на этапе проектирования с использованием геоинформационных технологий.

Для достижения этой цели в диссертации решена задача разработки методов, алгоритмов и программных средств на базе геоинформационных техноло-

гий, позволяющих оптимизировать технические параметры сети телерадиовещания, включающая частные задачи:

- оптимизация технических параметров сетей телевизионного и звукового вещания по критериям максимума коэффициента покрытия обслуживаемой территории и минимальности суммарной мощности радиопередающих станций при полном покрытии;
- оптимизация сети телерадиовещания по критериям максимума коэффициента покрытия обслуживаемой территории и минимальности суммарной мощности радиопередающих станций при полном покрытии с учетом требований электромагнитной совместимости;
- разработка программных средств для решения задач оптимизации сетей ТВ и звукового вещания.

Методы исследования.

В данной работе используются методы математического моделирования, математического анализа, численные методы расчета, методы оптимизации, организация структур и баз данных, объектно-ориентированное программирование, методы расчета напряженности поля, методы анализа ЭМС.

Научная новизна работы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- Сформулирована задача территориального планирования сетей телевизионного и звукового вещания как задача оптимизации по предложенным показателям эффективности сети.
- Предложен метод оптимального размещения радиопередающих станций на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия обслуживаемой территории сигналами от РПС с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций, а также по критерию минимальности суммарной мощности РПС. Построены функционалы качества для этих задач и реализованы алгоритмы численного поиска оптимального решения.
- Предложены функционалы качества в задачах оптимизации параметров сети телерадиовещания с учетом обеспечения требований электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.
- Исследована эффективность различных методов оптимизации в задачах территориального планирования сетей телевизионного и звукового вещания на примерах решения конкретных задач.

Практическая ценность работы.

Оптимизация технических параметров сетей на этапе проектирования по предложенным критериям позволяет повысить эффективность сетей ТВ и звукового вещания. В частности, результаты решения задачи оптимального размещения фиксированного числа РПС на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия этой территории сигналами от РПС позволяют разместить радиовещательные станции таким образом, при котором обеспечивается возможность приема программ для большей части населения. Решение другой задачи оптимального расположения РПС на обслуживаемой территории по критерию минимальности суммарной мощности позволяет сократить затраты энергетического ресурса.

Разработан программный комплекс «Ресурс», предназначенный для оптимизации параметров сети телерадиовещания и реализующий решение сформулированных задач.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы обсуждались на следующих конференциях: Международная НМК «Новые информационные технологии в региональной инфраструктуре и образовании» НИТРИО-2001, Астрахань, 2001; Electronics and Electrical Engineering.-K.aunas:Technology, 2002; Республиканский конкурс научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии имени Н.И. Лобачевского, Казань: КГУ, 2002; XXIX Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе» IT+8E'2002, Украина, Гурзуф, 2002; IX Всероссийский форум «Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес. Образование», Москва, 2002; Юбилейная VIII Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика-2002», С.-Петербург, 2002; XXX Международная конференция «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе» IT+8E'2003, Украина, Гурзуф, 2003; X Всероссийский форум «Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес. Образование», Москва, 2003; Международная НТК «Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий» Сочи, 2003. Работа была отмечена дипломом II степени на Республиканском конкурсе научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии имени Н.И. Лобачевского по направлению «Радиоэлектронные устройства и системы» и дипломом III степени на конкурсе межвузовской комплексной программы «Наукоемкие технологии образования».

Реализация результатов работы.

Результаты диссертационной работы были использованы в подразделениях Министерства связи Республики Татарстан, СПКБ «Татсвязьпроект» и Радиотелевизионном передающем центре при проектировании сетей связи и вещания, а также в учебном процессе Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева на кафедре радиоэлектронных и телекоммуникационных систем при подготовке студентов направления «Телекоммуникации» специальностей «Многоканальные телекоммуникационные системы» и «Средства связи с подвижными объектами».

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 7 статей, тезисы докладов в трудах четырех международных и всероссийских конференций, 2 учебных пособия с грифом УМО по образованию в области телекоммуникаций, 2 свидетельства РФ на полезную модель.

Структура работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Она изложена на 145 страницах и содержит 51 рисунок и 30 таблиц. Список использованной литературы включает 127 пунктов.

Научные положения, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие научные положения, выдвигаемые на основе полученных в диссертационной работе результатов.

1. Формулировка задачи территориального планирования сетей телевизионного и звукового вещания как задачи оптимизации по предложенным показателям эффективности сети.

2. Метод оптимального размещения радиопередающих станций на обслуживаемой территории, по критерию максимума коэффициента покрытия обслуживаемой территории сигналами от РПС с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций, а также по критерию минимальности суммарной мощности РПС. Функционалы качества для этих задач и алгоритмы численного поиска оптимального решения.

3. Функционалы качества в задачах оптимизации параметров сети телерадиовещания с учетом обеспечения требований электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

4. Результаты анализа эффективности различных методов оптимизации в задачах территориального планирования сетей телевизионного и звукового вещания.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность задачи оптимизации параметров сетей ТВ и звукового вещания на этапе проектирования с использованием геоинформационных технологий, сформулированы цель работы и задача исследований. Приведены сведения о структуре диссертации и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены принципы построения и функциональные возможности системы частотно-территориального планирования (ЧТП) сетей телевизионного и звукового вещания. ЧТП включает в себя этап частотного планирования, на котором происходит выбор и назначение частот радиопередающим вещательным станциям специальными службами, а также этап территориального планирования. С появлением электронных карт и ГИС появилась возможность проведения более точных расчетов размещения РПС на заданной территории с учетом рельефа местности и подстилающей поверхности. Таким образом, одним из важных этапов ЧТП является оптимальное территориальное планирование радиопередающих станций. Из анализа состояния проблемы частотно-территориального планирования следует, что:

- для повышения технической и экономической эффективности проекта необходимо на этапе территориального планирования решать задачи оптимизации параметров станций;

- решение этих задач должно осуществляться с использованием специального программного обеспечения на базе геоинформационных технологий с использованием многослойных электронных карт местности.

Проведен сравнительный анализ методик расчета напряженности поля и зон обслуживания РПС сетей телерадиовещания. Сформулированы требования,

предъявляемые к методике при решении задач оптимизации параметров сети на этапе ЧТП. Согласно этим требованиям выбранная методика, с одной стороны, должна быть адекватна реальности, т.е. учитывать рельеф местности, тип подстилающей поверхности и т.д., с другой стороны, должна быть легко реализуемой, т.е. учитывать только самые необходимые параметры для уменьшения трудоемкости вычислений, связанных с оптимизацией. Этим требованиям удовлетворяют методы, изложенные в рекомендации 370-7 международного союза электросвязи (МСЭ-Р).

Проведен анализ и сравнение современных ГИС, направленных на решение задач планирования сетей, из которого следует, что:

- на сегодняшний день большая часть специализированных ГИС в области связи направлена на планирование сотовых, транкинговых, пейджинговых сетей радиосвязи, а также сетей абонентского радиодоступа;
- специализированные ГИС, направленные на решение задач планирования сетей ТВ и звукового вещания, позволяют проводить анализ сети, в ходе которого корректируются параметры радиопередающих станций;
- специализированные ГИС, направленные на решение задач оптимизации параметров станций при ЧТП сетей телерадиовещания, находятся в стадии разработки.

В состав передающей сети ТВ и звукового вещания входят теле- и радиоцентры и собственно передающие радиостанции. Обслуживаемая территория представляет собой поверхность S , на которой расположено N радиопередающих станций. Параметрами i -ой РПС являются излучаемая мощность P_i , высота подвеса антенны h_i , координаты размещения (x_i, y_i) , где $i = \overline{1, N}$. Зона обслуживания i -ой РПС S_i является функцией этих параметров и представляет собой территорию (множество точек), в пределах которой уровень радиосигнала не ниже заданного

$$E_{\text{пол}} \geq E_{\text{мин}},$$

где: $E_{\text{пол}}$ - напряженность поля на границе зоны обслуживания полезной РПС; $E_{\text{мин}}$ - минимальная используемая напряженность поля - уровень напряженности электромагнитного поля, необходимый для приема с удовлетворительным качеством при заданных условиях в присутствии шумов, но в отсутствие помех от других передатчиков.

К сети ТВ и звукового вещания предъявляются различные требования. К показателям эффективности сети телерадиовещания относятся показатели характеризующие качество связи в сети, системные показатели, а также эксплуатационные и экономические показатели, характеризующие затраты энергетического, частотного и аппаратного ресурсов. В данной работе рассмотрены технические аспекты эффективности.

Исходная сеть телерадиовещания A (рис.1) состоит из N РПС и характеризуется техническим показателем эффективности \mathcal{Q}_A , который зависит от параметров РПС и является функцией нескольких переменных

$$\mathcal{Q}_A = f(N, f_i, P_i, h_i, (x_i, y_i)), i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где f_i , P_i , h_i , (x_i, y_i) - частота, мощность, высота подвеса антенны и координаты расположения i -ой РПС соответственно. Выбирая оптимальные значения этих параметров, получим оптимизированную сеть A' . В реальных условиях на значения параметров радиопередающих станций наложены ограничения.

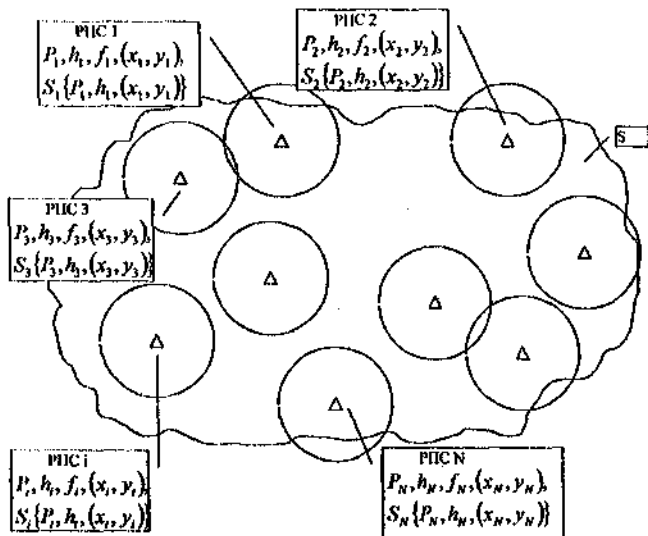


Рис. 1. Сеть ТВ и звукового вещания

Задача территориального планирования сети ТВ и звукового вещания как задачи оптимизации по предложенному показателю эффективности может быть сформулирована следующим образом: найти такую сеть телерадиовещания A' , т.е. такой набор параметров РПС $(N', f'_i, P'_i, h'_i, (x_i, y_i)')$, где $i = \overline{1, N'}$, который удовлетворяет ограничениям и обладает при этом наилучшим значением показателя эффективности \mathcal{E}_A .

$$\mathcal{E}_A(A') = \mathcal{E}_A = \max_{(N, f_i, P_i, h_i, (x_i, y_i), i = \overline{1, N})} \mathcal{E}_A(A) \quad (3)$$

$$\text{при } f_{\min} < f_i < f_{\max}; P_i < P_{\max}; h_i < h_{\max}; (x_i, y_i) \in S; i = \overline{1, N}.$$

Таким образом, задача исследований заключается в разработке методов, алгоритмов и программных средств на базе геоинформационных технологий, позволяющих оптимизировать технические параметры сети телерадиовещания, т.е. повысить эффективность сети.

Но и порой глупе сформулированы варианты показателя эффективности \mathcal{E}_A и соответствующие им задачи территориального планирования. Вид показателя эффективности \mathcal{E}_A может быть различным и формируется разработчиком сети телерадиовещания, исходя из технических требований, предъявляемых к данной сети.

Предложен метод оптимального размещения радиопередающих станций па обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия обслуживаемой территории сигналами от РИС с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций, а также по критерию минимальности суммарной мощности РПС.

В этом разделе приведены особенности реализации методики расчета зон обслуживания РПС сети телерадиовещания в задачах оптимизации. Для реализации алгоритма математических моделей необходимые графические зависимости МСЭ-Р были аппроксимированы полиномами. Оценена точность аппроксимации. Предложен алгоритм нахождения среднего колебания высот местности позволяющий сократить затраты машинного времени.

Предложены функционалы качества и алгоритмы их вычислений. Для решения оптимизационных задач обслуживаемая территория S произвольной формы была представлена в виде массива точек W

$$W = \{w_{1j}, w_{2j}\}, j=1, V, \quad (4)$$

где V - общее число точек, принадлежащих обслуживаемой территории. Каждая точка области S характеризуется двумя параметрами. Если напряженность поля в j -ой точке области S превышает минимально используемую напряженность поля хотя бы одной i -ой РПС, т.е. выполняется условие

$$E_i \geq E_{\min i}, i=1, N, \quad (5)$$

то параметр $w_{1j} = 1$, иначе $w_{1j} = 0$. Параметр w_{2j} показывает число РИС, которые создают в точке области S напряженность поля E_u удовлетворяющую условию (5). Таким образом, параметр w_{2j} принимает значения $w_{2j} = 0, 1, 2, \dots, N$.

Рассмотрим задачу оптимального размещения фиксированного числа РПС - N с заданными параметрами (P_i, h_i) в области S , в результате решения которой коэффициент покрытия области S сигналами от этих станций будет максимальным. В данной задаче показатель эффективности \mathcal{E}_A соответствует коэффициенту покрытия. Определим коэффициент покрытия области S сигналами от РПС

$$\mathcal{E}_A = K = \frac{S \bigcup_{i=1}^N S_i \{P_i, h_i, (x_i, y_i)\}}{S}, i=1, N. \quad (6)$$

Варьируя координаты (x_i, y_i) , находим оптимальную сеть, которая имеет максимальное значение коэффициента покрытия K_{opt} области S

$$\mathcal{E}'_A = K_{opt} = \max_{(x_i, y_i)} \frac{S \bigcup_{i=1}^N S_i \{P_i, h_i, (x_i, y_i)\}}{S}. \quad (7)$$

Так как область S представлена массивом точек, то коэффициент покрытия обслуживаемой территории сигналами от РПС может быть записан в виде

$$\mathcal{Q}_A = K = \frac{V_n}{V}, \quad (8)$$

где V_n - число точек области S , в которых выполняется условие (5)

$$V_n = \sum_{j=1}^N w_{1j}. \quad (9)$$

Показатель эффективности \mathcal{Q}_A согласно (8) может принимать значения от нуля до единицы $0 \leq \mathcal{Q}_A \leq 1$.

Рассмотрим другой вариант записи коэффициента покрытия

$$\mathcal{Q}_A = \tilde{K} = \frac{\tilde{V}_n}{V}, \quad (10).$$

где величину \tilde{V}_n представим в виде

$$\tilde{V}_n = \sum_{j=1}^N \chi_j w_{1j}. \quad (11)$$

Согласно выражению (11) каждая точка, принадлежащая области S , суммируется со своим коэффициентом χ_j . Этот коэффициент характеризует степень перекрытия зон действия радиопередающих станций, и имеет линейную зависимость от параметра w_{2j}

$$\chi_j = \xi w_{2j} + b. \quad (12)$$

Коэффициенты ξ и b задаются разработчиком сети, исходя из следующего. Если j -я точка области S попадает в зону обслуживания одной станции (т.е. $w_{2j} = 1$), то коэффициент χ_j принимает максимальное значение равное единице. Дальнейшее увеличение параметра w_{2j} приводит к уменьшению коэффициента χ_j , а, следовательно, и к уменьшению значения функционала.

Рассмотрим другую задачу оптимального размещения фиксированного числа РПС - N в области S , по критерию минимальности суммарной мощности радиопередающих станций. Решения этой задачи образуют множество Q , элементы которого содержат суммарную мощность и координаты размещения РПС, при которых выполняется условие $V_n = V$, где величина V_n определяется формулой (9)

$$Q = \{q_n\} = \left\{ \sum_i P_i, (x_i, y_i) \mid i = \overline{1, N}, K = 1 \right\}. \quad (13)$$

Оптимальным решением этой задачи является сеть с минимальным значением суммарной мощности P_{opt} из всех элементов множества Q

$$\mathcal{Q}'_A = P_{opt} = \min_n \sum_{i=1}^N P_i. \quad (14)$$

Предложена блок-схема алгоритма решения этой задачи.

Проведен сравнительный анализ методов оптимизации, в результате, которого для решения поставленных многоэкстремальных задач были выбраны ме-

годы циклического покоординатного спуска (ЦПС) и динамического программирования (ДП). Для решения вспомогательной задачи одномерной оптимизации n методом ЦПС использовались методы полного перебора и золотого сечения.

Приведены примеры решения сформулированных выше задач. И задаче оптимального расположения РИС на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия области S сигналами от РИС с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций ($\xi = 0,25, b = 1,25$) показатель эффективности исходной сети составил $\mathcal{E}_s = \bar{K} = 0,662$. На рис.2а показано оптимальное расположение РИС на обслуживаемой территории найденное с помощью метода ЦПС с решением вспомогательной задачи одномерной оптимизации методом золотого сечения. На рис.2б - методом ДП. Показатель эффективности полученных решений приведен в табл.1.

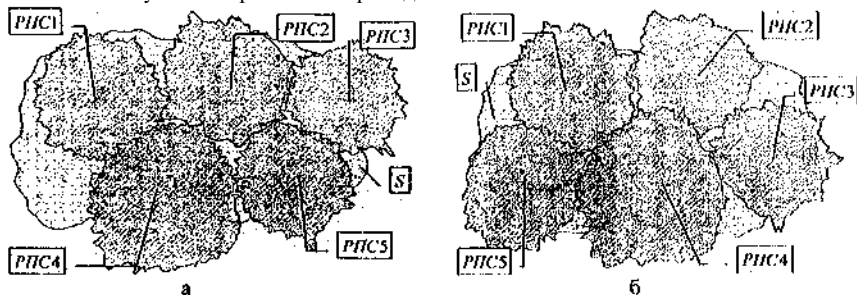


Рис.2. Оптимальное расположение РИС

Таблица 1

Результаты решения задачи оптимального размещения РИС			
Методы оптимизации	ЦПС		ДП
	метод перебора	метод золотого сечения	
показатель эффективности \mathcal{E}_s	0,875	0,823	0,896

Из рис.2 и табл.1 видно, что в результате решения поставленной задачи оптимизации найденное расположение РИС на обслуживаемой территории обеспечивает покрытие этой территории информационным каналом наилучшим образом, т.е. предложенный метод оптимального расположения РИС позволяет повысить эффективность сети ТВ и звукового цокания.

На примерах решения конкретных задач была оценена эффективность выбранных методов оптимизации в задачах территориального планирования сетей телерадиовещания. Показано, что для решения поставленных задач целесообразно первоначально использовать метод ЦПС, если полученный результат не удовлетворяет разработчика сети; то необходимо решить данную задачу методом ДП.

В третьей главе сформулированы функционалы качества в задачах оптимизации параметров сети телерадиовещания с учетом обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Проведен сравнительный анализ статистических методов расчета помех, создаваемых несколькими источниками, и результате, которого в качестве ме

тодики расчета зоны обслуживания полезной станции с учетом помех от мешающих станций, выбран упрощенный метод умножения.

Приведены особенности реализации методики расчета зоны обслуживания полезной станции с учетом помех от мешающих станций в задачах оптимизации. Для проведения расчетов с применением ЭВМ графические зависимости напряженности поля от расстояния $E_{(50,10)}$ и $E_{(50,1)}$ Рекомендации 370-7 МСЭ-Р были аппроксимированы полиномами. Оценена точность аппроксимации.

Предложены функционалы качества в задачах оптимизации параметров сети телерадиовещания с учетом ЭМС РЭС. Решения задачи оптимального размещения РПС на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия области S сигналами от РПС с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций образуют множество Q , элементы которого содержат значения коэффициента покрытия, при которых выполняются требования ЭМС РПС

$$Q = \{q_n\} = \left\{ K = \frac{P_n}{V} \mid i = \overline{1, N}, \rho_0 \geq 0,5 \right\}, \quad (15)$$

где ρ_0 - местная вероятность обеспечения приема для $2(N-1)$ напряженностей полей помех; V - общее число точек, принадлежащих обслуживаемой территории; P_n - величина, учитывающая степень перекрытия зон действия радиопередающих станций и определяемая по формуле (11).

При решении задачи (15) для полезной и всех мешающих станций рассчитывается местная вероятность обеспечения приема. Если $\rho_0 \geq 0,5$, то полезная и мешающие станции совместимы и показатель эффективности соответствует коэффициенту покрытия обслуживаемой территории сигналами от РПС.

Если множество $Q = \emptyset$ - пустое множество, т.е. условие электромагнитной совместимости радиопередающих станций не выполняется $\rho_0 < 0,5$, то в этом случае показатель эффективности равен величине ρ_0

$$\mathcal{E}_A = \rho_0. \quad (16)$$

Варьируя координаты РПС (x_j, y_j) находим оптимальную сеть, которая имеет максимальное значение показателя эффективности

$$\mathcal{E}_A = K_{opt} = \max_Q K, \quad (17)$$

$$\mathcal{E}_A = \max_{(x_i, y_i)} \rho_0. \quad (18)$$

В результате решения данной задачи при выполнении условия ЭМС РЭС ($\rho_0 \geq 0,5$) находится максимальное значение коэффициента покрытия области S сигналами от этих станций (17), иначе (при $\rho_0 < 0,5$) находится такое расположение РПС, при котором значение местной вероятности обеспечения приема максимально (18).

Например, на рис.3 показано произвольное расположение пяти РПС на обслуживаемой территории S . Параметры станций занесены в табл. 2.

Параметры радиопередающих станций

№ РПС	f , МГц	ТВК	СНЧ (Р,М)	h , м	Р, Вт	КУ, ДБ	Поляризация
1	175,25	6ТВ	Ш	60	100	2	Г
2	223,25	12ТВ	0	45	200	2	Г
3	175,25	6ТВ	0	50	100	2	В
4	77,25	3ТВ	0	37,5	100	2	Г
5	199,25	9ТВ	0	40	150	2	В

Следует отметить, что ТВ передатчики первой и третьей станций работают в совмещенных каналах, следовательно, они оказывают наиболее сильное мешающее воздействие и требуют небольших значений защитных отношений. Показатель эффективности исходной сети соответствует величине местной вероятности обеспечения приема и равен $\vartheta_a = p_0 = 0,202$.

Оптимальное расположение радиопередающих станций в области S , найденное с помощью метода ЦПС с решением вспомогательной задачи одномерной оптимизации методом полного перебора приведено на рис. 4.



Рис. 3. Начальное расположение РПС



Рис. 4. Оптимальное расположение РПС

В результате решения данной задачи взаимно мешающие передатчики РПС1 и РПС3, работающие в совмещенных частотных каналах, территориально разнесены (рис. 4), при этом условие ЭМС РПС выполнено ($\rho_0 \geq 0,5$), следовательно, находится максимальное значение коэффициента покрытия области S сигналами от этих станций, которое составило $\mathcal{A}' = K_{opt} = 0,79$.

Решения другой задачи оптимального размещения фиксированного числа РПС - N в области S с учетом ЭМС, по критерию минимальности суммарной мощности РПС, образуют множество Q , элементы которого содержат суммарную мощность и координаты размещения РПС (x_i, y_i) , при которых выполняются требования на покрытие сигналами радиопередающих станций заданной области S и ЭМС РЭС

$$Q = \{a_n\} = \left\{ \sum_i P_i(x_i, y_i) \mid i=1, N, \rho_0 \geq 0,5, K = \frac{V_n}{V} = 1 \right\}, \quad (19)$$

где p_0 - местная вероятность обеспечения приема для $2(N-1)$ напряженностей полей помех; V - общее число точек, принадлежащих обслуживаемой территории; V_n - число точек обслуживаемой территории, в которых напряженность

коля превышает минимально используемую напряженность поля хотя бы одной РИС и определяется формулой (9).

Мели множество $Q \neq \emptyset$ - пустое множество (условие ЭМС РЭС не выполняется $p_o < 0,5$), то показатель эффективности сети телерадиовещания соответствует величине местной вероятности обеспечения приема p_o

$$\mathcal{E}_A = p_o. \quad (20)$$

Оптимальным решением данной задачи является сеть с минимальным значением суммарной мощности P_{opt} (21) при $p_o \geq 0,5$, иначе находится такое расположение радиопередающих станций, при котором значение местной вероятности обеспечения приема максимально (22)

$$\mathcal{E}_A = P_{opt} = \min_Q \sum_{i=1}^N P_i, \quad (21)$$

$$\mathcal{E}_A = \max_{(x_i, y_i)} p_o. \quad (22)$$

Алгоритм числеш-юго поиска оптимального решения построен таким образом, что позволяет автоматически территориально разнести взаимно мешающие передатчики, оказывающие наиболее сильное мешающее воздействие приему 'Ш и звуковых сигналов.

В четвертой главе представлен разработанный программный комплекс «Ресурс», предназначенный для оптимизации параметров сети телерадиовещания на этане территориального планирования. Приведен пример решения задачи нахождения оптимального расположения РПС на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия с помощью программного комплекса «Ресурс». Проведен сравнительный анализ результатов расчета напряженности ноля в некоторых точках, полученных с помощью программного комплекса «Ресурс» с измеренными значениями в тех же точках. Приведено математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение разницы экспериментального и расчетного значений.

Представлена обобщенная структура программного комплекса «Ресурс» (рис. 5). Как видно из рисунка в программном обеспечении условно выделено три блока. Первый блок связан с использованием ГИС-технологий при решении задач оптимизации. В программном комплексе «Ресурс», разработанным на основе универсальной ГИС «Карта 2000», реализованы возможности этой системы, которые предоставляют удобный доступ к картографической информации.

При решении поставленных задач необходимая информация о географических координатах установки радиопередающих станций, типах РПС, рабочих частотах, мощностях передатчиков, типах и высотах установки антенн, защитных отношений и др. хранится в соответствующих базах данных. Эти базы данных составляют второй блок программного обеспечения.

Перший и второй блоки используются на каждом этане решения сформулированных задач.

П'третий блок (см. рис.5) объединены алгоритм решения задач оптимизации и совокупность используемых при этом модулей.

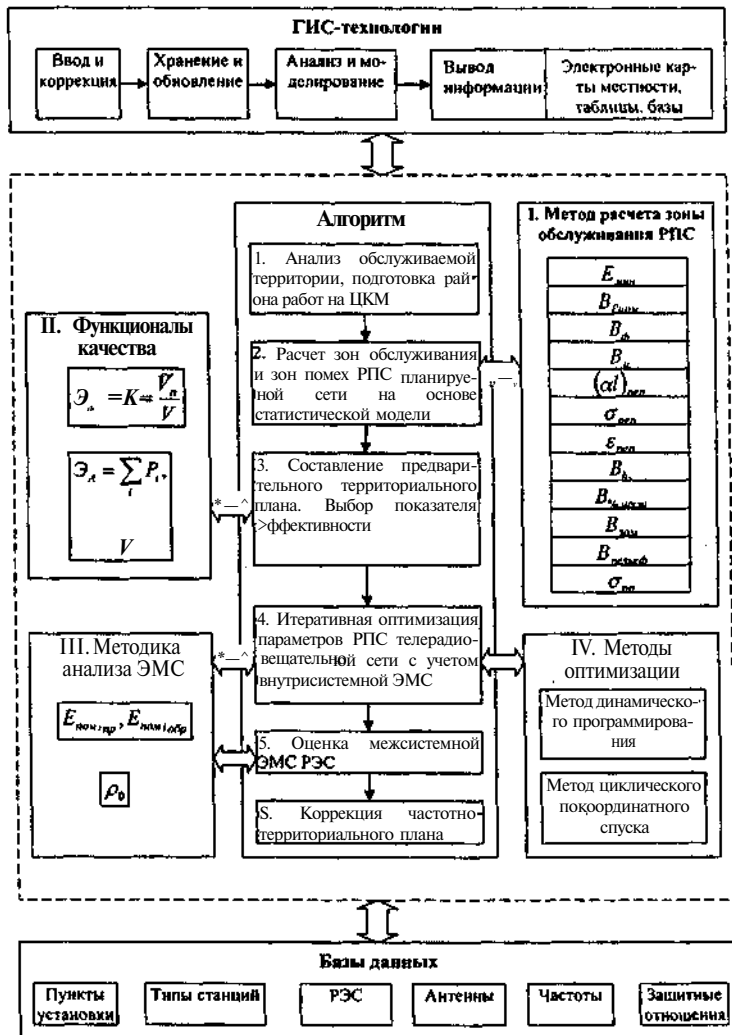


Рис.5. Обобщенная структура программного комплекса «Ресурс».

Начало алгоритма соответствует подготовке района работ на электронной карте. Для повышения оперативности и обоснованности решений, принимаемых при выборе мест размещения РПС, в программном комплексе реализована процедура построения профиля трассы между двумя выбранными точками на карте с учетом сферичности Земли. При этом вычисляются значение просвета -

минимального расстояния от линии визирования до поверхности Земли, учитывая положение 1-ой зоны Френеля. Пользователь имеет возможность оперативно изменять высоты антенн для обеспечения заданного просвета на трассе.

После выбора местоположения передающих станций осуществляется ввод характеристик системы связи. Для этого в программном комплексе созданы базы данных (БД), содержащие основные данные по антеннам и фидерам, необходимые для расчетов. При необходимости учёта формы диаграммы направленности вместо поправки на неравномерность используется выраженное в децибелах значение нормированной диаграммы направленности для заданного направления. В программе предусмотрен ввод диаграммы по точкам с угловым шагом в 2 градуса.

На втором этапе проводится расчет зон обслуживания РПС через два градуса по азимуту, с учетом выбранных параметров по заданному уровню поля на их границе. Методика расчета зоны обслуживания РПС выделена в отдельный модуль (модуль I), что позволяет корректировать ее, не меняя структуры программного обеспечения. Так же возможен расчет уровня сигнала в произвольной точке от выбранной РПС.

На следующем этапе осуществляется занесение необходимой информации в соответствующие массивы, нанесение зон обслуживания на пользовательскую карту и расчет начального значения выбранного показателя эффективности (модуль II). Полученный предварительный территориальный план используется в качестве начального приближения при решении задач оптимального планирования.

Далее осуществляется оптимизация параметров РПС выбранным методом (модуль IV) телерадиовещательной сети с учетом обеспечения внутрисистемной ЭМС (модуль III). Решения о конфигурации сети и ее основных параметрах состоит в выборе среди множества возможных решений такого, которое обладает наилучшим значением показателя эффективности.

Окончательный вариант проектируемой сети включает результаты расчетов зон обслуживания РПС, а также технических требований к оборудованию и условиям совместной работы сети телерадиовещания с РЭС других служб. План размещения РПС отображается на пользовательской электронной карте.

Информация, содержащаяся в базах данных, методики расчета зоны обслуживания РПС и анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств соответствуют требованиям МСЭ-Р.

Программный комплекс «Ресурс» используется в подразделениях Министерства связи РТ, СПКБ «Татсвязьпроект» и Радиотелевизионном передающем центре при планировании сетей связи и вещания, а также в учебном процессе Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева на кафедре радиоэлектронных и телекоммуникационных систем при подготовке студентов направления «Телекоммуникации» специальностей «Многоканальные телекоммуникационные системы» и «Средства связи с подвижными объектами».

В заключении приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

1. Сформулирована задача территориального планирования сетей телевизионного и звукового вещания как задача оптимизации по предложенным показателям эффективности сети.

2. Предложен метод оптимального размещения радиопередающих станций на обслуживаемой территории по критерию максимума коэффициента покрытия обслуживаемой территории сигналами от радиопередающих станций с учетом степени перекрытия зон обслуживания станций, а также по критерию минимальности суммарной мощности РПС. Построены функционалы качества для этих задач и реализованы алгоритмы численного поиска оптимального решения.

3. Предложены функционалы качества в задачах оптимизации параметров сети телерадиовещания с учетом обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Алгоритмы численного поиска оптимального решения реализованы таким образом, что при условии совместимости РЭС находится оптимальное расположение радиопередающих станций по критерию максимума коэффициента покрытия или по критерию минимальности суммарной мощности. При условии несовместимости РЭС находится наилучшее размещение станций, при котором значение местной вероятности обеспечения приема максимально.

4. Исследована эффективность различных методов оптимизации в задачах территориального планирования сетей телевизионного и звукового вещания на примерах решения конкретных задач. Показано, что для решения поставленных задач целесообразно первоначально использовать метод ЦПС, если полученный результат не удовлетворяет разработчика сети, то необходимо решить данную задачу методом ДП.

5. Разработан алгоритм нахождения среднего колебания высот местности, позволяющий сократить затраты машинного времени.

6. Для алгоритмической реализации математических моделей необходимые графические зависимости Рекомендации 370-7 МСЭ-Р были аппроксимированы аналитическими выражениями. Оценена точность аппроксимации.

7. Разработан программный комплекс «Ресурс», предназначенный для оптимизации параметров сети телерадиовещания и реализующий решение сформулированных задач.

8. На примерах решения поставленных задач показано, что предложенный метод оптимального размещения РПС на обслуживаемой территории позволяет повысить эффективность сети телерадиовещания.

Таким образом, задача исследований, заключающаяся в разработке методов, алгоритмов и программных средств на базе геоинформационных технологий, позволяющих оптимизировать параметры сетей телевизионного и звукового вещания на этапе проектирования, решена.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях.

1. Щербakov Г.И., Сабиев И.А., Линдваль В.Р., Спирина Е.А. Особенности использования ГИС-технологий при внедрении в учебный процесс по специальности «Средства связи с подвижными объектами»// Материалы 4-ой международной НМК «НИТРИО-2001», Астрахань: Астрахан.гос.ун-т., 2001.-С.358-359.

2. *Щербаков Г.И., Линдваль В.Р., Спирина Е.А.* Частотно-территориальное планирование радиосредств связи и вещания на базе геоинформационных систем// Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. Казань: КГТУ (КАИ), НИО «САН», 2002,- Выпуск 1(22).- С.11-17.
3. *Спирина Е.А.* Геоинформационные системы для частотно-территориального планирования средств связи и вещания// ISSN 1392- 1 215 Electronics and Electrical Engineering- Kaunas: Technologija, 2002.- No. 3(38).- P. 59-62.
4. *Спирина Е.А.* Разработка программного комплекса для решения задач в области связи и вещания на базе геоинформационных технологий// Республиканский конкурс научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии имени Н.И. Лобачевского. Тезисы итоговой конференции, Казань: КГУ.2002.- С. 113-114.
5. *Валеев А.К., Линдваль В.Р., Спирина Е.А., Щербаков Г.И.* Геоинформационные системы для решения задач частотно-территориального планирования/ Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан, гос. тех. ун-та, 2002.- 136с.
6. *Запьялов Р.Г., Линдваль В.Р., Спирина Е.А., Щербаков Г.И.* Расчет зон действия радио- и телевещательных станций с применением геоинформационной системы «GIS-Zone 2001»/ Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан, гос. тех. ун-та, 2002.- 88с.
7. *Щербаков Г.И., Сабаев И.А., Линдваль В.Р., Спирина Е.А.* Использование ГИС технологий в учебном процессе по специальности «Средства связи с подвижными объектами»// Труды XXIX Международной конференции «IT+SE'2002», Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2002.- С.396-398.
8. *Щербаков Г.И., Линдваль В.Р., Спирина Е.А.* Использование ГИС-технологий для оптимизации частотно-территориальных ресурсов// Труды XXIX Международной конференции «IT+SE'2002», Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2002.- С.394-395.
9. *Линдваль В.Р., Спирина Е.А., Щербаков Г.И.* Геоинформационные системы в учебном процессе телекоммуникационных специальностей// Тезисы докладов IX Всероссийского форума «Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес. Образование», М.: ГИС-Ассоциация, 2002.- С 49-50.
- Ю.*Щербаков Г.И., Линдваль В.Р., Спирина Е.А.* Использование ГИС технологий в обучении студентов направления «Телекоммуникации»// VIII Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика -2002», Спб.:2002.- С.88.
- 11.*Спирина Е.А.* Оптимизация частотно-территориального планирования сетей телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания на базе геоинформационных технологий// Труды XXX Международной конференции «IT+SE'2003», Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2003.- С 172.
- 12.*Спирина Е.А., Щербаков Г.И., Линдваль В.Р.* Оптимизация частотно-территориального планирования сетей телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания на базе геоинформационных технологий// Тезисы докладов X Всероссийского форума «Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес. Образование».М.: ГИС-Ассоциация, 2003. -С.49-50.
- М.*Спирина Е.А., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И., Трофимов В.Л.* Оптимизация параметров радиопередающих станций при решении задач частотно-территориального планирования средств связи и вещания с использованием Геоинформационных технологий//Материалы Международной конференции и Российской научной школы «Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий», М.: Радио и связь, 2003. Ч.3.Т.2.- С.44-49.
- ^*Свидетельство РФ на полезную модель № 29425, бюл. № 13 от 10.05.2003. Система радиосвязи между подвижным объектом и неподвижным объектом, находящимся в начальном пункте маршрута движения подвижного объекта/Куперишидт П.В., Хусаинов В.Р., Спирина Е.А., Щербаков Г.И.*
- 15.*Свидетельство РФ на полезную модель № 30049, бюл. № 16 от 10.06.2003. Система радиосвязи между подвижным объектом и неподвижным объектом, находящимся в начальном пункте маршрута движения подвижного объекта/Куперишидт П.В., Хусаинов В.Р., Спирина Е.А., Щербаков Г.И.*